

(12) NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES  
PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum  
Internationales Büro



(43) Internationales Veröffentlichungsdatum  
5. August 2004 (05.08.2004)

PCT

(10) Internationale Veröffentlichungsnummer  
WO 2004/065918 A2

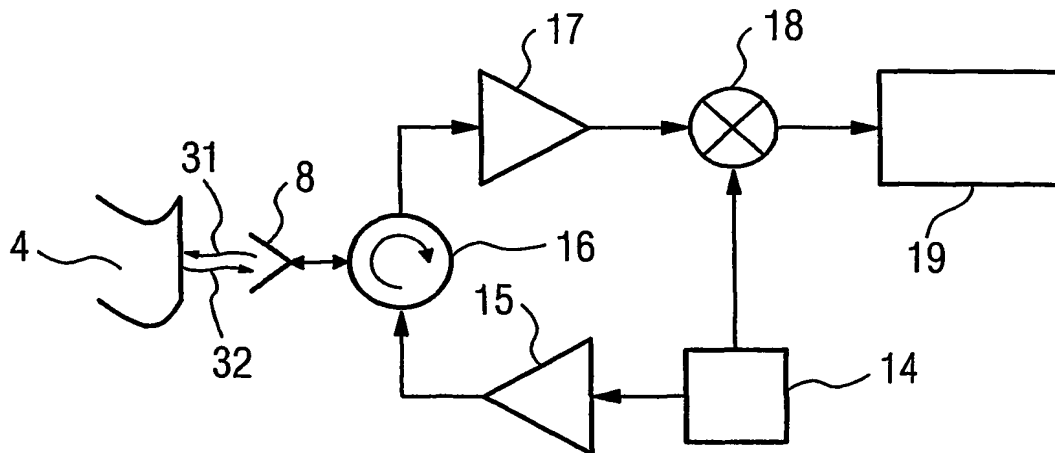
543138

- (51) Internationale Patentklassifikation<sup>7</sup>: G01H (72) Erfinder; und  
(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2004/000324 (75) Erfinder/Anmelder (nur für US): BOSSELMANN, Thomas [DE/DE]; Ringstr. 30 A, 91080 Marloffstein (DE). EIERMANN, Franz [DE/DE]; Sonnenhang 42, 96199 Zapfendorf (DE). HUBER, Klaus [DE/DE]; Am Steinberg 4, 91341 Röttenbach (DE). WILLSCH, Michael [DE/DE]; Schwabacher Str. 19, 90762 Füh (DE).  
(22) Internationales Anmeldedatum: 16. Januar 2004 (16.01.2004)  
(25) Einreichungssprache: Deutsch  
(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch  
(30) Angaben zur Priorität:  
103 02 714.9 23. Januar 2003 (23.01.2003) DE  
103 56 513.2 3. Dezember 2003 (03.12.2003) DE  
(71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme von US): SIEMENS AKTIEGESELLSCHAFT [DE/DE]; Wittelsbacherplatz 2, 80333 München (DE).  
(74) Gemeinsamer Vertreter: SIEMENS AKTIEGESELLSCHAFT; Postfach 22 16 34, 80506 München (DE).  
(81) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare nationale Schutzrechtsart): AE, AG, AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DZ, EC, EE, EG, ES,

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

(54) Title: METHOD FOR DETERMINATION OF THE STRESS ON BLADES OF A TURBINE MACHINE DURING OPERATION AND CORRESPONDING DEVICE FOR CARRYING OUT SAID METHOD

(54) Bezeichnung: VERFAHREN ZUM ERMITTELN DER BEANSPRUCHUNG VON SCHAUFELN EINER STRÖMUNGSMASCHINE WÄHREND DES BETRIEBS SOWIE ENSPRECHENDE VORRICHTUNG ZUR DURCHFÜHRUNG DES VERFAHRENS



(57) Abstract: The method serves to determine the vibrational state of turbine blades (4), arranged on a rotor shaft, mounted such as to rotate in a housing and/or of guide vanes. At least one electromagnetic wave (31) is transmitted into a flow channel in the vicinity of the blades (4), using means (8) for the generation of at least one electromagnetic wave. The electromagnetic waves (31) are at least partly reflected from at least one blade (4). The reflected part (32) of the at least one electromagnetic wave is received by means for receiving (8) and the vibrational state of the corresponding blade (4) is determined from a signal corresponding to the at least one received electromagnetic wave (32).

(57) Zusammenfassung: Das Verfahren dient zum Ermitteln des Schwingungszustandes von in einer Strömungsmaschine mit einer in einem Gehäuse drehbar gelagerten Rotorwelle angeordneten Laufschaufeln (4) und/oder Leitschaufeln. Durch Mittel (8) zum Erzeugen mindestens einer elektromagnetischen Welle wird mindestens eine elektromagnetische Welle (31) in einem Strömungskanal in einem Bereich der Schaufeln (4) ausgesendet. Die elektromagnetische

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

WO 2004/065918 A2



FI, GB, GD, GE, GH, GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX, MZ, NA, NI, NO, NZ, OM, PG, PH, PL, PT, RO, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SY, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, YU, ZA, ZM, ZW.

EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE, IT, LU, MC, NL, PT, RO, SE, SI, SK, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

**Veröffentlicht:**

— ohne internationalen Recherchenbericht und erneut zu veröffentlichen nach Erhalt des Berichts

**(84) Bestimmungsstaaten** (soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare regionale Schutzrechtsart): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LS, MW, MZ, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasisches (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), europäisches (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK,

Zur Erklärung der Zweibuchstaben-Codes und der anderen Abkürzungen wird auf die Erklärungen ("Guidance Notes on Codes and Abbreviations") am Anfang jeder regulären Ausgabe der PCT-Gazette verwiesen.

## Beschreibung

Verfahren zum Ermitteln der Beanspruchung von Schaufeln einer Strömungsmaschine während des Betriebs sowie entsprechende

5 Vorrichtung zur Durchführung des Verfahrens

Die vorliegende Erfindung betrifft Verfahren zum Ermitteln der Beanspruchung von in einer Strömungsmaschine mit an einer in einem Gehäuse drehbar gelagerten Rotorwelle angeordneten  
10 Laufschaufeln. Ferner betrifft die Erfindung ein Verfahren zum Ermitteln der Beanspruchung von in einer Strömungsmaschine mit einem Gehäuse drehfest angeordneten Leitschaufeln, sowie eine Vorrichtung zur Durchführung der Verfahren.

15 Strömungsmaschinen, wie beispielsweise Dampf- oder Gasturbinen, werden als Wärme-Kraft-Maschinen in der Technik eingesetzt, um eine in einem Gasstrom gespeicherte Energie in eine mechanische Energie zu überführen, insbesondere eine Drehbewegung.

20

Um gerade bei Gasturbinen einen möglichst großen Gesamtwirkungsgrad hinsichtlich der Energieausnutzung zu erreichen, werden die Gaseintrittstemperaturen von der Brennkammer in den Strömungskanal der Gasturbine möglichst hoch gewählt. Im  
25 Stand der Technik liegen solche Gaseintrittstemperaturen beispielsweise bei 1200°C.

Damit die in dem Strömungskanal der Turbine angeordneten Schaufeln der physikalischen, insbesondere thermischen, Beanspruchung standhalten, ist es im Stand der Technik bekannt,  
30 die Schaufeln mit einer Oberflächenbeschichtung, Thermal-Barrier-Coating, kurz TBC, zu versehen. Eine derartige Beschichtung der Schaufeln unterliegt jedoch der Alterung, indem diese mit der Zeit von der Schaufel in Abhängigkeit der  
35 Betriebsdauer abgetragen wird. Eine Schaufel, bei der die Oberflächenbeschichtung beschädigt ist, unterliegt einem sehr hohen Verschleiß, der zur Zerstörung der Schaufel führt. Eine

Leistungsverminderung oder sogar eine Beschädigung der Turbine ist die Folge.

Im Stand der Technik ist es daher üblich, aufgrund von Test-  
5 ergebnissen und Erfahrungswerten die Standzeiten solcher  
Schaufeln festzulegen, wobei am Ende eines solchen Betriebs-  
intervalls jeweils die Turbine zerlegt wird, um die Oberflä-  
chenbeschichtung der Laufschaufeln zu überprüfen. Nachteilig  
ist, dass ein Zerlegen der Turbine sehr kosten- und zeitauf-  
10 wendig ist, wobei die Wartungsintervalle derart gelegt sind,  
dass ein Auftreten der oben genannten Beschädigungen weitge-  
hend vermieden wird. Dies führt ferner dazu, dass eine War-  
tung auch dann ausgeführt wird, wenn eine tatsächliche Ver-  
schleißgrenze noch nicht erreicht ist.

15 Darüber hinaus sind im Betrieb die Belastungen auf die Lauf-  
schaufeln, die durch die Drehbewegung und durch den auf die  
Laufschaufeln wirkenden Gasstrom hervorgerufen werden, sehr  
hoch. Auch die Belastungen, die nur auf den die Leitschaufeln  
20 umströmenden Gasstrom zurückzuführen sind, sind nicht zu ver-  
nachlässigen.

Im Betrieb geraten Lauf- und Leitschaufeln stets in mechani-  
sche Schwingungen. Sind die Schwingungen zu sehr ausgeprägt,  
25 kann es zu Rissbildung an den Schaufeln kommen, was im Ex-  
tremfall zum Abreißen der Schaufeln führen kann. Insbesondere  
können abgerissene Laufschaufelteile wegen ihrer hohen kine-  
tischen Energie Metallwände durchschlagen, wie z.B. die Ge-  
häusewand der Turbine. Neben der Beschädigung der Turbine  
30 birgt dies auch eine Gefahr für die in der Nähe befindlichen  
Menschen.

Eine Überwachung der Schaufelschwingungen während des Betrie-  
bes ermöglicht, wenn es erforderlich ist, schnell zu reagie-  
35 ren und den Ursachen der Schwingung rechtzeitig entgegenzu-  
wirken.

Eine Möglichkeit zur Überwachung von Turbinenschaufelschwingungen lässt sich gemäß WO 95/35484 mit Hilfe von Mikrowellen ausführen. Dabei wird ein Mikrowellenleiterrohr in die Nähe einer rotierenden Schaufelreihe einer Turbine positioniert und zwar so, dass bei der Drehung der Rotorwelle die Schaufelspitzen die Öffnung des Wellenleiterrohres passieren. Durch das Wellenleiterrohr wird dann eine kontinuierliche Welle von Mikrowellenenergie zur rotierenden Schaufelreihe gesendet. Beim Durchgang einer Schaufelspitze durch die Bahn der kontinuierlichen Welle wird eine reflektierte Welle erzeugt, die zusammen mit der gesendeten Welle eine stehende Welle ausbildet. Diese bricht zusammen, sobald die Schaufelspitze weiterläuft und baut sich erst wieder auf, wenn die darauffolgende Schaufelspitze vor der Öffnung erscheint. Jeder Durchgang einer einzelnen Schaufelspitze durch die Bahn der kontinuierlichen Welle erzeugt ein Signal im Takt der an der Öffnung vorbeilaufenden Schaufelspitzen. Abweichungen in der Regelmäßigkeit des Taktes liefern Informationen über den Schwingungszustand der Schaufel. In einer weiteren Ausführungsform wird die Intensität der reflektierten Welle gemessen, die sich ebenfalls im Takt der vorbeilaufenden Schaufelspitzen ändert. Die Signalauswertung geschieht dabei analog zu der vorstehend beschriebenen Ausführungsform. Mit dieser bekannten Vorrichtung ist es jedoch nur eingeschränkt möglich, Informationen über den Schwingungszustand zu erhalten. Da die ausgesandte Welle an den Schaufelspitzen reflektiert wird, werden nur Schwingungsmoden detektiert, die an den Schaufelenden besonders ausgeprägt sind. Moden mit besonderer Ausprägung im Bereich zwischen Rotorwelle und Schaufelspitze können mit dieser Vorrichtung nicht erfasst werden. Insbesondere bei einer speziellen Ausführungsform von Schaufelrädern, bei der alle Schaufelspitzen eines Rades mit einem Ring miteinander verbunden sind, lässt sich diese offenbarte Vorrichtung zur Schaufelschwingungsüberwachung nicht einsetzen. Denn bei diesen Schaufelrädern kommen nur Schwingungsmoden vor, bei denen der Bereich zwischen Rotorwelle und Schaufelspitze schwingt, während die Schaufelspitzen selbst durch den Ring

fixiert sind und nicht schwingen können. Des Weiteren ist es mit dieser offenbarten Vorrichtung prinzipiell nicht möglich, Schwingungen der Leitschaufeln zu messen.

- 5 Es ist daher die Aufgabe der vorliegenden Erfindung, ein Verfahren und eine Vorrichtung zur Durchführung des Verfahrens bereitzustellen, mit dem eine umfassendere Überwachung des Zustandes der Lauf- und/oder Leitschaufeln im Hinblick auf Beanspruchungen während des Betriebs erreichbar ist.

10

- Als Lösung der Aufgabe wird mit der Erfindung ein Verfahren zum Ermitteln der Beanspruchung von in einer Strömungsmaschine mit an einer in einem Gehäuse drehbar gelagerten Rotorwelle angeordneten Laufschaufeln vorgeschlagen, wobei durch Mittel zum Erzeugen mindestens einer elektromagnetischen Welle  
15 mindestens eine elektromagnetische Welle im Strömungskanal in einem Bereich der Laufschaufeln ausgesendet wird, die mindestens eine elektromagnetische Welle von wenigstens einer Laufschaufel zumindest teilweise reflektiert, der reflektierte  
20 Teil der mindestens einen elektromagnetischen Welle durch Mittel zum Empfang empfangen und aus einem der empfangenen mindestens einen elektromagnetischen Welle entsprechenden Signal die Beanspruchung der Laufschaufeln ermittelt wird.

- 25 Es wird der Effekt ausgenutzt, dass der reflektierte Anteil der mindestens einen elektromagnetischen Welle Informationen über den Beanspruchungszustand oder den Grad oder das Maß der Beeinträchtigung der Schaufeln gegenüber dem Sollzustand enthält, die durch Auswertung des empfangenen Signals ermittelt  
30 werden können. Als Parameter kommen hierzu insbesondere Amplitude und/oder Phase und/oder die spektrale Verteilung des Signals in Frage.

- Es wird mit der Erfindung weiterhin ein Verfahren zum Ermitteln der Beanspruchung von in einer Strömungsmaschine mit einem Gehäuse drehfest angeordneten Leitschaufeln vorgeschla-  
35 gen, wobei durch Mittel zum Erzeugen mindestens einer elek-

tromagnetischen Welle mindestens eine elektromagnetische Welle in einem Strömungskanal in einem Bereich der Leitschaufeln ausgesendet wird, die mindestens eine elektromagnetische Welle von wenigstens einer Leitschaufel zumindest teilweise reflektiert, der reflektierte Teil der mindestens einen elektromagnetischen Welle durch Mittel zum Empfang empfangen und aus einem der mindestens einen empfangenen elektromagnetischen Welle entsprechenden Signal die Beanspruchung der Leitschaufeln ermittelt wird.

10

Darüber hinaus wird eine Kombination beider vorstehender Verfahren vorgeschlagen, um die Beanspruchung von Lauf- und Leitschaufeln gleichzeitig oder getrennt zu bestimmen.

- 15 Mit der Erfindung wird weiter ein Verfahren vorgeschlagen, als Maß für die Beanspruchung die Oberflächengüte der Schaufeln zu ermitteln. Erstmals ist es somit möglich, einen entsprechenden Zustand von Schaufeln nicht nur ohne Zerlegung der Turbine festzustellen, sondern auch während des Betriebs
- 20 der Turbine zu überwachen. So kann eine Wartung einer Turbine vorteilhafterweise dann erfolgen, wenn durch die Beanspruchung definitiv eine Verschleißgrenze bezüglich der Oberflächengüte erreicht ist. Die Wartungsintervalle können so auf die tatsächlichen Erfordernisse ausgedehnt werden. Die durch
- 25 die Wartung der Turbine verursachten Kosten, insbesondere auch die Standzeiten, können deutlich reduziert werden. Zur Ausführung des Verfahrens können auch mehrere elektromagnetische Wellen ausgesendet werden, die beispielsweise auch über den Umfang des Strömungskanals verteilt ausgesendet werden
- 30 können. Ebenso können natürlich die reflektierten Anteile an unterschiedlichen Stellen des Umfangs des Strömungskanals empfangen werden, um hierdurch zusätzliche und/oder genauere Informationen über den Zustand der Oberflächengüte zu erhalten. Selbstverständlich kann das Verfahren natürlich auch du-
- 35 al zum Ermitteln einer Oberflächengüte von in einer Strömungsmaschine angeordneten Leitschaufeln verwendet werden, wobei jedoch die Mittel zum Erzeugen mindestens einer elek-

tromagnetischen Welle und zum Empfang an der drehbar gelagerten Rotorwelle angeordnet sind.

- Vorteilhaft können somit auch nicht rotierende Elemente der Strömungsmaschine hinsichtlich ihrer Oberflächengüte überwacht werden. Es können beispielsweise über den Umfang der Strömungsmaschine verteilt angeordnete Mittel zum Aussenden mindestens einer elektromagnetischen Welle verwendet werden, wobei eine Anordnung bedarfsgerecht vorgesehen sein kann.
- Entsprechend können Mittel zum Empfang vorgesehen sein, um reflektierte elektromagnetische Wellen zu empfangen. Um Aufwand für den Betrieb einer solchen Anordnung zu reduzieren, kann beispielsweise vorgesehen sein, die Anordnung im Pulsbetrieb und/oder im Zeitmultiplex-Betrieb zu betreiben. Daneben kann auch vorgesehen sein, dass ein Mittel zum Aussenden mindestens einer elektromagnetischen Welle gleichzeitig auch für den Empfang verwendet wird, wobei dieses im Bereich der zu überwachenden Leitschaufeln am Gehäuse angeordnet ist.
- Ferner wird vorgeschlagen, dass entsprechend einer zu ermittelnden Oberflächenstruktur mindestens eine an die jeweilige Oberflächenform angepasste elektromagnetische Welle mit einer angepassten Wellenlänge verwendet wird. So kann vorteilhaft erreicht werden, dass die Auswirkungen der Beschädigungen auf die mindestens eine elektromagnetische Welle besonders günstig sind, um beispielsweise für die Auswerteeinheit einen hohen Signalpegel zu erreichen, aus dem die Oberflächengüte ermittelt wird.
- In einer weiteren Ausgestaltung wird vorgeschlagen, dass das Mittel zum Erzeugen mindestens einer elektromagnetischen Welle für den Empfang mindestens einer elektromagnetischen Welle verwendet wird. Bauteile sowie Montage- und Konstruktionsaufwand an der Turbine können reduziert werden. So kann beispielsweise eine Antenne sowohl zum Senden als auch für den Empfang verwendet werden.



Weiterhin wird vorgeschlagen, dass aus einer Intensität der mindestens einen empfangenen elektromagnetischen Welle die Oberflächengüte ermittelt wird. So kann vorteilhaft mit einfachen und kostengünstigen Mitteln eine Auswertung des Signals erreicht werden. Daneben können auch andere geeignete Wellenlängen verwendet werden, beispielsweise Millimeterwellen und dergleichen.

Mit der Erfindung wird außerdem ein Verfahren vorgeschlagen, als Maß für die Beanspruchung den Schwingungszustand der Schaufeln zu ermitteln. Es ist damit möglich, neben den Schwingungszuständen, die die Schaufelspitzen vibrieren lassen, auch Schwingungszustände festzustellen, deren Moden besonders in dem mittleren Bereich der Schaufel, also zwischen Schaufelspitze und Rotorwelle, ausgeprägt sind. Dies hat den Vorteil, dass die Informationen über den Schwingungszustand der Schaufeln umfassender und genauer als beim Stand der Technik sind. Schäden, die auf Moden zurückzuführen sind, die besonders in dem mittleren Bereich der Schaufeln ausgeprägt sind, können durch rechtzeitiges Eingreifen vermieden werden.

Zur Ausführung des Verfahrens können auch mehrere elektromagnetische Wellen ausgesendet werden, die beispielsweise auch über den Umfang des Strömungskanals verteilt ausgesendet werden können. Ebenso können natürlich die reflektierten Anteile an unterschiedlichen Stellen des Umfangs des Strömungskanals empfangen werden, um hierdurch zusätzliche und genauere Informationen über den Schwingungszustand der Laufschaufeln zu erhalten. Selbstverständlich kann das Verfahren natürlich auch dual zum Ermitteln eines Schwingungszustandes von in einer Strömungsmaschine angeordneten Leitschaufeln verwendet werden, wobei die Mittel zum Erzeugen mindestens einer elektromagnetischen Welle und zum Empfang auch an der drehbar gelagerten Rotorwelle angeordnet sein können.

Es wird mit der Erfindung weiterhin ein Verfahren zum Ermitteln des Schwingungszustandes von in einer Strömungsmaschine

mit einem Gehäuse drehfest angeordneten Leitschaufeln vorgeschlagen, wobei durch Mittel zum Erzeugen mindestens einer elektromagnetischen Welle mindestens eine elektromagnetische Welle in einem Strömungskanal in einem Bereich der Leitschaufeln ausgesendet wird, die mindestens eine elektromagnetische Welle von wenigstens einer Leitschaufel zumindest teilweise reflektiert, der reflektierte Teil der mindestens einen elektromagnetischen Welle durch Mittel zum Empfang empfangen und aus einem der mindestens einen empfangenen elektromagnetischen Welle entsprechenden Signal der Schwingungszustand der Leitschaufeln ermittelt wird.

Darüber hinaus wird eine Kombination beider vorstehender Verfahren zur Ermittlung des Schwingungszustandes vorgeschlagen, um den Schwingungszustand von Lauf- und Leitschaufeln gleichzeitig oder getrennt zu bestimmen.

Vorteilhaft können somit auch nicht rotierende Elemente der Strömungsmaschine hinsichtlich ihres Schwingungszustandes überwacht werden. Es können beispielsweise über den Umfang der Strömungsmaschine verteilt angeordnete Mittel zum Aussenden mindestens einer elektromagnetischen Welle verwendet werden, wobei eine Anordnung bedarfsgerecht vorgesehen sein kann. Entsprechend können Mittel zum Empfang vorgesehen sein, um reflektierte elektromagnetische Wellen zu empfangen. Um Aufwand für den Betrieb einer solchen Anordnung zu reduzieren, kann beispielsweise vorgesehen sein, die Anordnung im Pulsbetrieb und/oder im Zeitmultiplex-Betrieb zu betreiben. Daneben kann auch vorgesehen sein, dass ein Mittel zum Aussenden mindestens einer elektromagnetischen Welle gleichzeitig auch für den Empfang verwendet wird, wobei dieses im Bereich der zu überwachenden Leitschaufeln am Gehäuse angeordnet ist.

Ferner wird vorgeschlagen, dass eine an die jeweilige Oberflächenform angepasste mindestens eine elektromagnetische Welle mit einer angepassten Wellenlänge verwendet wird. So

kann vorteilhaft erreicht werden, dass die Auswirkungen der Schwingungen auf die mindestens eine elektromagnetische Welle besonders günstig sind, um beispielsweise für die Auswerteeinheit einen hohen Signalpegel zu erreichen, aus dem der Schwingungszustand ermittelt wird.

Darüber hinaus wird vorgeschlagen, dass als mindestens eine elektromagnetische Welle mindestens eine Radarwelle verwendet wird. Vorteilhaft kann auf bekannte Mittel zum Erzeugen und zum Übertragen von Radarwellen zurückgegriffen werden. Aufwand sowie Kosten können weiter reduziert werden. Ferner kann durch die Verwendung von Radarwellen eine Anpassung hinsichtlich der Schwingungsfrequenz und/oder der Beschädigung der Schaufeln erreicht werden, so dass ein günstiger Signalpegel zur Überwachung des Schwingungszustandes und/oder der Oberflächengüte erreicht werden kann.

In einer weiteren Ausgestaltung wird vorgeschlagen, dass das Mittel zum Erzeugen mindestens einer elektromagnetischen Welle für den Empfang mindestens einer elektromagnetischen Welle verwendet wird. Bauteile sowie Montage- und Konstruktionsaufwand an der Turbine können reduziert werden. So kann beispielsweise eine Radarantenne sowohl zum Senden als auch für den Empfang verwendet werden.

Weiterhin wird vorgeschlagen, dass aus einem Frequenzvergleich der mindestens einen ausgesandten mit der mindestens einen empfangenen elektromagnetischen Welle der Schwingungszustand der Schaufeln ermittelt wird. So kann vorteilhaft mit einfachen und kostengünstigen Mitteln eine Auswertung des Signals erreicht werden. Daneben können auch andere geeignete Wellenlängen verwendet werden, beispielsweise Millimeterwellen und dergleichen.

Darüber hinaus wird vorgeschlagen, dass als Maß für die Beanspruchung die Oberflächengüte und der Schwingungszustand der Schaufeln gleichzeitig ermittelt wird. Neben der Zeit- und

Kostenersparnis liefert eine gleichzeitige Messung auch einen umfassenderen Überblick über die Beanspruchung der Schaufeln, was ein rascheres Eingreifen bei sich abzeichnender Beschädigung ermöglicht.

5

Mit der Erfindung wird ferner eine Vorrichtung zur Durchführung der erfindungsgemäßen Verfahren vorgeschlagen, welche Mittel zum Erzeugen einer elektrischen Schwingung, Mittel zur Erzeugung mindestens einer elektromagnetischen Welle aus der  
10 Schwingung, Mittel zum Empfang mindestens einer elektromagnetischen Welle und eine Auswerteeinheit zur Auswertung eines der mindestens einen empfangbaren elektromagnetischen Welle entsprechenden Signals aufweist. Vorteilhaft sind die Mittel zur Erzeugung mindestens einer elektromagnetischen Welle und  
15 zum Empfang in einem Strömungskanal der Strömungsmaschine angeordnet. Diese können jeweils durch Antennen gebildet sein, die geeignet sind, die elektromagnetischen Wellen zu erzeugen und auszusenden bzw. zu empfangen und ein entsprechendes Signal zu erzeugen. Das Mittel zum Erzeugen einer elektrischen  
20 Schwingung kann beispielsweise durch einen elektronischen Oszillator gebildet sein, der mit der Antenne zur Erzeugung mindestens einer elektromagnetischen Welle in Wirkverbindung steht. Das Mittel zum Empfang mindestens einer elektromagnetischen Welle steht vorzugsweise mit einer Auswerteeinheit in  
25 Wirkverbindung, die in der Lage ist, aus dem vom Mittel zum Empfang gelieferten Signal eine Information über den Schwingungszustand und/oder die Oberflächengüte der Schaufeln zu ermitteln.

30 Weiterhin wird vorgeschlagen, dass das Mittel zur Erzeugung mindestens einer elektromagnetischen Welle sowohl zum Senden als auch zum Empfang mindestens einer elektromagnetischen Welle geeignet ist. Die Anzahl der Bauelemente kann auf diese Weise weiter reduziert werden. So kann beispielsweise das  
35 Mittel zur Erzeugung mindestens einer elektromagnetischen Welle über ein Kopplungsmittel mit dem Mittel zum Erzeugen einer Schwingung in Wirkverbindung stehen. Ein der mindestens

einen empfangenen elektromagnetischen Welle entsprechendes Signal wird über das Kopplungsmittel der Auswerteeinheit zugeführt. Es können auch mehrere Kopplungsmittel und Antennen vorgesehen sein, die beispielsweise parallel mit mehreren zugeordneten Auswerteeinheiten oder auch mit beispielsweise einer Auswerteeinheit im Zeitmultiplex in Verbindung stehen.

In einer vorteilhaften Weiterbildung der vorliegenden Erfindung wird vorgeschlagen, dass das Mittel zur Erzeugung mindestens einer elektromagnetischen Welle mindestens eine Radarantenne ist. Die Radarantenne kann kompakt gebaut sein und kleine Abmessungen aufweisen. Die Radarantenne ist sowohl zum Aussenden mindestens einer Radarwelle als auch zum Empfang mindestens einer Radarwelle geeignet. Dazu kann sie beispielsweise mit einem Zirkulator in Verbindung stehen, über den eine Schwingung zur Antenne zuführbar ist, wobei zugleich ein von der Radarantenne geliefertes Empfangssignal an eine Auswerteeinheit übermittelbar ist. Besonders vorteilhaft kann ein Verfahren nach dem Doppler-Prinzip eingesetzt werden, bei dem die Empfangswellenlänge von den Sendewellenlänge abweicht. Durch geeignete, insbesondere elektronische Mittel kann ein gleichzeitiger Betrieb des Aussendens und des Empfangens von elektromagnetischen Wellen erreicht werden. Darüber hinaus kann auch ein Wellenimpuls ausgesendet werden, wobei in den Impulspausen das Mittel zum Erzeugen mindestens einer elektromagnetischen Welle auf Empfang geschaltet wird. Energie und Aufwand zur Erzeugung der mindestens einen elektromagnetischen Welle kann eingespart werden.

In einer weiteren Ausgestaltung wird vorgeschlagen, dass das Mittel zur Erzeugung mindestens einer elektromagnetischen Welle in der Strömungsmaschine, insbesondere einer Gasturbine, angeordnet ist. Gerade im Großmaschinenbereich kann mit der erfindungsgemäßen Vorrichtung eine kostengünstige Überwachung der Schaufeln erreicht werden, wodurch insbesondere teure Stillstandzeiten wegen Wartung und Reparaturmaßnahmen weiter reduziert werden können. So kann beispielsweise eine

Erhöhung der Verfügbarkeit einer mit einer Gasturbine ausgerüsteten Energieversorgung erreicht werden. Die erfindungsgemäße Vorrichtung kann darüber hinaus derart ausgestaltet sein, dass die Auswirkungen auf die Gasströmung im Strömungskanal der Strömungsmaschine weitgehend gering gehalten werden.

Weitere Vorteile und Merkmale sind der folgenden Figurenbeschreibung zu entnehmen. Gleiche Bauteile sind in unterschiedlichen Figuren mit gleichen Bezugszeichen versehen. Hinsichtlich der Funktionen gleicher Bauteile wird auf die Beschreibung zum ersten Ausführungsbeispiel verwiesen.

Es zeigen:

15

Figur 1 eine Gasturbine des Stands der Technik in einer teilweise aufgeschnittenen, perspektivischen Ansicht,  
Figur 2 eine vergrößerte Ansicht eines Ausschnitts aus der Zeichnung in Figur 1 mit einer erfindungsgemäßen Vorrichtung,  
Figur 3 ein Prinzipschaltbild zur Ausführung des erfindungsgemäßen Verfahrens,  
Figur 4 eine Laufschaufel der Gasturbine in Figur 1,  
Figur 5 eine Leitschaufel der Gasturbine in Figur 1,  
Figur 6 ein Prinzipschaltbild einer weiteren Ausgestaltung zur Überwachung von Leitschaufeln und  
Figur 7 Antennen-Anordnung zur Überwachung von Laufschaufeln.

In Figur 1 ist eine Gasturbine 1 des Standes der Technik dargestellt, die für eine hohe Gaseintrittstemperatur von ca. 1200°C konzipiert ist. Die Gasturbine 1 weist an einer in einem Gehäuse 2 drehbar gelagerten Rotorwelle 3 angeordnete Laufschaufeln 4 auf. Ferner sind mit dem Gehäuse 2 drehfest verbundene Leitschaufeln 11 vorgesehen (Figur 4, Figur 5). Die Laufschaufeln 4 und die Leitschaufeln 11 sind insbesondere jeweils mit einer Oberflächenbeschichtung 12, 13 versehen,

um den physikalischen Beanspruchungen im Strömungskanal 6 der Gasturbine 1 Stand zu halten.

Wie in Figur 2 dargestellt, ist die Turbine 1 mit einer erfindungsgemäßen Vorrichtung ausgestattet, welche eine Antenne 8, insbesondere eine Radarantenne, aufweist, die in den Strömungskanal 6 der Gasturbine 1 hineinragt. Die Radarantenne 8 ist im Bereich der zu überwachenden Laufschaufeln 4 insbesondere zwischen zwei Laufschaufelreihen angeordnet. Die Radarantenne 8 dient als Mittel zum Aussenden mindestens einer elektromagnetischen Welle sowie auch als Mittel zum Empfang der mindestens einen elektromagnetischen Welle. Die Radarantenne 8 steht in Kommunikationsverbindung mit einem Zirkulator 16. Die erfindungsgemäße Vorrichtung weist ferner einen Hochfrequenzgenerator 14 auf, der über einen Verstärker 15 mit dem Zirkulator 16 in Wirkverbindung steht. Der Zirkulator 16 steht zugleich mit einem Empfangsverstärker 17 und mit einem Mischer 18 in Verbindung, der seinerseits zugleich mit dem Hochfrequenzgenerator 14 verbunden ist. Ein Ausgang des Mixers 18 ist mit der Auswerteeinheit 19 gekoppelt (Figur 2).

Im in den Figuren 2 und 3 gezeigten Ausführungsbeispielen wird das Prinzip eines Dopplerradars verwendet. Hierbei wird mindestens eine elektromagnetische (Radar-)Welle 31 mit einer festen Wellenlänge ausgesendet, die von einem relativ zur Antenne 8 bewegten, zu überwachenden Objekt (= Laufschaufel 4) reflektiert wird. Durch die Relativbewegung ist die Empfangswellenlänge im reflektierten Teil 32 der mindestens einen elektromagnetischen Welle gegenüber der ausgesendeten Wellenlänge gemäß den bekannten physikalischen Effekten verschoben und die Antenne 8 erzeugt ein entsprechendes Signal.

Im einzelnen läuft das Verfahren des hier behandelten Ausführungsbeispiels wie in Figur 3 gezeigt und im folgenden beschrieben ab.

Ein elektronischer Hochfrequenzgenerator 14 erzeugt eine Hochfrequenz mit einer festen, vorgebbaren Wellenlänge, welche vorzugsweise einer der in Tabelle 1 angegebenen Frequenzen  $f_0$  entspricht.

5

$f_0$ / GHz	2.4	5.8	24	61	122	245
$f_D$ / kHz	6.032	14.577	60.32	153.3	306.6	459.9

Tabelle 1

Die Hochfrequenz wird einem Verstärker 15 zugeführt, der seinerseits die verstärkte Hochfrequenz über den Zirkulator 16 der Antenne 8 zuführt. Die Antenne 8 erzeugt aus der zugeführten Hochfrequenzenergie mindestens eine entsprechende Radarwelle 31 und sendet diese gemäß ihrer Strahlungscharakteristik aus. Die an der Radarantenne 8 vorbeilaufenden Laufschaukeln 4 reflektieren einen Teil 32 der Radarstrahlung zurück zur Antenne 8, wobei sie aufgrund ihrer Relativbewegung zur Antenne 8, zusammengesetzt aus Drehbewegung und Schwingung, eine Wellenlängenänderung bewirken. In der hier dargestellten Ausgestaltung mit einer Rotationsfrequenz von 60 Hz und mit einem wirksamen Abstand von ca. 1 m zwischen der Drehachse und dem durch die mindestens eine Radarwelle 31 erfassten Bereich der Laufschaukel 4, ergeben sich die zur Wellenlängenänderung entsprechenden Frequenzen  $f_D$  gemäß der Formel:

15

$$f_D(t) = f_0 \cdot \frac{2v(t)}{c_0} .$$

Dabei ist  $f_0$  die Frequenz der mindestens einen ausgesandten Welle 31,  $v(t)$  die relativen Geschwindigkeiten der die mindestens eine elektromagnetischen Welle 31 reflektierenden Oberflächen der Laufschaukeln 4 und Leitschaukeln 11 bezüglich der Antenne 8 und  $c_0$  die Ausbreitungsgeschwindigkeit der mindestens einen elektromagnetischen Welle 31, 32.



Die mindestens eine reflektierte elektromagnetische Welle 32 wird über die Antenne 8 wieder in ein elektrisches Signal transformiert, welches dem Zirkulator 16 zugeführt wird. Der Zirkulator 16 trennt nun das empfangene Signal vom gesendeten Signal und führt dies dem Empfangsverstärker 17 zu. Vom Empfangsverstärker 17 gelangt das Signal auf einen Mischer 18, in dem es mit einem Signal, welches der Hochfrequenz des Hochfrequenzgenerators 14 entspricht gemischt wird. Dabei werden die Phasenlagen der Hochfrequenz vom Hochfrequenzgenerator 14 und des Signals vom Empfangsverstärker 17 entsprechend berücksichtigt. Das Ausgangssignal des Mixers 18 liefert ein Signal mit der Differenzfrequenz zwischen Empfangsfrequenz und ausgesendeter Hochfrequenz. Dieses Signal mit der Frequenz  $f_D$ , wie in Tabelle 1 ausgeführt, wird der Auswerteeinheit 19 zugeführt, die aus den Eigenschaften dieses Signals (= Amplitude und/oder Phase und/oder deren spektrale Verteilung) den Schwingungszustand und/oder den Zustand der Oberflächengüte der entsprechenden Laufschaufeln 4 ermittelt. Das ermittelte Auswerteergebnis wird über nicht näher dargestellte Anzeigeeinheiten bzw. Meldeeinheiten an die überwachende Stelle gemeldet bzw. an eine Zentrale weitergeleitet. Die Auswerteeinheit kann auch mit einer Vergleichsfunktion ausgestattet sein, mit der das Erreichen eines vorgebbaren Schwellwertes feststellbar ist. So kann beispielsweise bei Erreichen des Schwellwertes eine Meldung automatisch ausgegeben werden, dass eine Wartung der Turbine 1 durchzuführen ist. Vorzugsweise kann hierzu die Signalintensität verwendet werden.

Die Antenne 8 ist derart ausgebildet und angeordnet, dass die mindestens eine reflektierte elektromagnetische Welle 32 zumindest teilweise gegenüber der mindestens einen ausgesendeten elektromagnetischen Welle 31 eine Dopplerverschiebung (= Frequenzverschiebung) aufweist. In Figur 7 sind beispielhafte Ausführungsformen und Anordnungen verschiedener Antennen 81, 82 und 83 mit jeweils zugehöriger Strahlungscharakteristik 810, 820 bzw. 830 dargestellt. Die Antennen 81, 82 und 83

sind im Strömungskanal 6 im Bereich der zu überwachenden Laufschaufeln 4 und/oder Leitschaufeln 11 zwischen den Schaufelreihen angeordnet. Geeignet ist eine Ausführung als Stab-Antenne oder als Koaxial-Antenne insbesondere als koaxial ausgeführte Dipolantenne. Andere Antennen-Formen sind jedoch ebenfalls denkbar. Die Strahlungscharakteristik kann symmetrisch, wie bei den Antennen 81 und 83, aber asymmetrisch, wie bei der Antenne 82, ausgebildet sein. Für die Ausbildung einer möglichst großen Dopplerverschiebung ist es günstig, wenn die bewegten Teile, hier also die Laufschaufeln 4, den durch die Strahlungscharakteristik 810, 820 oder 830 abgedeckten Raumbereich passieren. Eine Bewegung, bei der sich die Laufschaufel 4 - in ihrer Gesamtheit oder nur in bestimmten Bereichen ihrer Oberfläche (vgl. die in Figur 4 dargestellte, in mehrere Richtungen gebogene Kontur) - zunächst auf die betreffende Antenne 81, 82 oder 83 zu bewegt und dann wieder von ihr entfernt, ist diesbezüglich besonders vorteilhaft. Es ist aber auch möglich, mit dieser Anordnung die Dopplerverschiebung, hervorgerufen nur durch die Schwingung der relativ zu den Antennen 81, 82 oder 83 feststehenden Teile, hier also die Leitschaufeln 11, festzustellen. Die Dopplerverschiebung rührt in diesem Fall nur von der Schwingungsbewegung nicht aber von einer Relativbewegung durch die Drehbewegung her.

Grundsätzlich können die Antennen 81, 82 und 83 zusätzlich zu der in der hier beschriebenen aktiven Betriebsweise, d.h. mit gezieltem Aussenden mindestens einer elektromagnetischen Welle 31 zum Zwecke der Erfassung der Laufschaufeln 4 und/oder der Leitschaufeln 11, auch passiv betrieben werden. Im passiven Betrieb emittieren die Antennen 81, 82 und 83 keine Sendestrahlung, sondern empfangen nur elektromagnetische Strahlung, die im Strömungskanal 6, insbesondere auch aufgrund von Defekten an den Laufschaufeln 4 und/oder an den Leitschaufeln 11, vorhanden ist. Die Antennen 81, 82 und 83 sind dann also ausschließlich zum „Hören“ bestimmt.

In einer weiteren Ausgestaltung der vorliegenden Erfindung werden die Leitschaufeln 11 und/oder die Laufschaufeln 4 einer Gasturbine 1 mittels Pulsradar überwacht. Ein Prinzipschaltbild einer solchen Ausgestaltung zur Erfassung der Leitschaufeln 11 zeigt Figur 6. Im Bereich der mit dem Gehäuse 2 drehfest verbundenen Leitschaufeln 11 der Gasturbine 1 sind über den Umfang des Strömungskanals 6 der Gasturbine 1 verteilt Sendeantennen 5 zur Aussendung mindestens einer elektromagnetischen Welle 31 angeordnet. Die Antennen 5 sind mit einem Hochfrequenzgenerator 9 verbunden, der jede Antenne mit Hochfrequenz versorgt. Der Hochfrequenzgenerator 9 ist ein Pulsgenerator, der kurze Hochfrequenzimpulse mit einem vorgebbaren Puls-Pausen-Verhältnis erzeugt und diese im Zeitmultiplex auf die mit ihm verbundenen Antennen 5 verteilt. Ferner sind über den Umfang des Strömungskanals 6 verteilt Empfangsantennen 7 zum Empfang von reflektierten elektromagnetischen Wellen 32 angeordnet. Die Empfangsantennen 7 sind mit einem Multiplexer 20 verbunden, der zugleich eine Funktion als Empfangsverstärker aufweist. In dieser Ausgestaltung wird über den Multiplexer 20 erreicht, dass zeitdiskret jeweils eine Antenne 7 mit der Auswerteeinheit 19 in Verbindung steht. Zugleich erhält die Auswerteeinheit 19 Hochfrequenz aus dem Hochfrequenzgenerator 9. Daneben erhält die Auswerteeinheit 19 über eine Leitung 21 ein Kanalauswahlsignal, welches eine Information über die ausgewählte Antenne 7 an die Auswerteeinheit 19 übermittelt. Die hier dargestellte Leitschaufelüberwachung wird im Impulsbetrieb betrieben, so dass der Energieverbrauch insgesamt gering gehalten werden kann. Darüber hinaus kann erreicht werden, dass die Bauelemente zur Erzeugung mindestens einer elektromagnetischen Welle insgesamt für eine geringere Belastung hinsichtlich der Thermik ausgelegt sein können.

Die vorliegende Erfindung ist nicht auf das Ausführungsbeispiel beschränkt anzusehen. Ebenso in den Schutzbereich hineingehend ist, dass auch mehrere Radarantennen zum Aussenden und/oder für den Empfang vorgesehen sind, um beispiels-

weise eine Redundanz der Messung oder auch eine höhere Genauigkeit zu erreichen.

5     Darüber hinaus sieht die vorliegende Erfindung eine gleichzeitige Messung des Schwingungszustandes und der Oberflächengüte der genannten Schaufeln vor.

10     Die vorliegende Erfindung beschränkt sich nicht auf die Verwendung nur einer einzigen elektromagnetischen Welle 31, 32. Sie schließt selbstverständlich auch das Aussenden und Empfangen mehrerer elektromagnetischer Wellen oder von Wellenspektren ein.

## Patentansprüche

1. Verfahren zum Ermitteln der Beanspruchung von in einer Strömungsmaschine (1) mit an einer in einem Gehäuse (2) drehbar gelagerten Rotorwelle (3) angeordneten Laufschaufeln (4), wobei durch Mittel (5,8) zum Erzeugen mindestens einer elektromagnetischen Welle mindestens eine elektromagnetische Welle (31) in einem Strömungskanal (6) in einem Bereich der Laufschaufeln (4) ausgesendet wird, die mindestens eine elektromagnetische Welle (31) von wenigstens einer Laufschaufel (4) zumindest teilweise reflektiert, der reflektierte Teil (32) der mindestens einen elektromagnetischen Welle durch Mittel zum Empfang (7, 8) empfangen und aus einem der empfangenen mindestens einen elektromagnetischen Welle entsprechenden Signal die Beanspruchung der Laufschaufeln (4) ermittelt wird.

2. Verfahren zum Ermitteln der Beanspruchung von in einer Strömungsmaschine (1) mit einem Gehäuse (2) drehfest angeordneten Leitschaufeln (11), wobei durch Mittel (5, 8) zum Erzeugen mindestens einer elektromagnetischen Welle (31) mindestens eine elektromagnetische Welle in einem Strömungskanal (6) in einem Bereich der Leitschaufeln (11) ausgesendet wird, die mindestens eine elektromagnetische Welle (31) von wenigstens einer Leitschaufel (11) zumindest teilweise reflektiert, der reflektierte Teil (32) der mindestens einen elektromagnetischen Welle durch Mittel zum Empfang (7, 8) empfangen und aus einem der empfangenen mindestens einen elektromagnetischen Welle entsprechenden Signal die Beanspruchung der Leitschaufeln (11) ermittelt wird.

3. Verfahren nach Anspruch 1 und 2, dadurch gekennzeichnet, dass an der mit Laufschaufeln (4) und Leitschaufeln (11) versehenen Rotorwelle (3) der Strömungsmaschine (1) sowohl die Beanspruchung der Laufschaufeln (4) als auch die Beanspruchung der Leitschaufeln (11) ermittelt wird.

4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, dass als Maß für die Beanspruchung die Oberflächengüte der Schaufeln ermittelt wird.

5 5. Verfahren nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, dass entsprechend einer zu ermittelnden Oberflächenstruktur mindestens eine an die jeweilige Oberflächenform angepasste elektromagnetische Welle (31) mit einer angepassten Wellenlänge verwendet wird.

10

6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, dass das Mittel (8) zum Erzeugen mindestens einer elektromagnetischen Welle für den Empfang mindestens einer elektromagnetischen Welle (32) verwendet wird.

15

7. Verfahren nach einem der Ansprüche 4 bis 6, dadurch gekennzeichnet, dass aus einer Intensität der mindestens einen empfangenen elektromagnetischen Welle (32) die Oberflächengüte der Schaufeln ermittelt wird.

20

8. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, dass als Maß für die Beanspruchung der Schwingungszustand der Schaufeln ermittelt wird.

25 9. Verfahren nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, dass mindestens eine an die jeweilige Oberflächenform angepasste elektromagnetische Welle (31) mit einer angepassten Wellenlänge verwendet wird.

30 10. Verfahren nach Anspruch 1 bis 9, dadurch gekennzeichnet, dass als mindestens eine elektromagnetische Welle mindestens eine Radarwelle (31) verwendet wird.

35 11. Verfahren nach einem der Ansprüche 8 bis 10, dadurch gekennzeichnet, dass das Mittel (8) zum Erzeugen mindestens einer elektromagnetischen Welle für den Empfang mindestens einer elektromagnetischen Welle (32) verwendet wird.

12. Verfahren nach einem der Ansprüche 8 bis 11, dadurch gekennzeichnet, dass aus einem Frequenzvergleich der mindestens einen ausgesandten mit der mindestens einen empfangenen elektromagnetischen Welle (32) der Schwingungszustand der Schaufeln ermittelt wird.

13. Verfahrens nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass als Maß für die Beanspruchung die Oberflächengüte und der Schwingungszustand der Schaufeln gleichzeitig ermittelt wird.

14. Vorrichtung zur Durchführung des Verfahrens nach einem der vorhergehenden Ansprüche mit Mitteln (9) zum Erzeugen einer elektrischen Schwingung, Mitteln (5, 8) zur Erzeugung mindestens einer elektromagnetischen Welle (31) aus der Schwingung, Mitteln (7, 8) zum Empfang mindestens einer elektromagnetischen Welle (32) und mit einer Auswerteeinheit (10) zur Auswertung der mindestens einen empfangbaren elektromagnetischen Welle (32).

15. Vorrichtung nach Anspruch 14, dadurch gekennzeichnet, dass das Mittel (8) zur Erzeugung mindestens einer elektromagnetischen Welle sowohl zum Senden als auch zum Empfang mindestens einer elektromagnetischen Welle (31, 32) geeignet ist.

16. Vorrichtung nach Anspruch 14 oder 15, dadurch gekennzeichnet, dass das Mittel (5, 8) zur Erzeugung mindestens einer elektromagnetischen Welle (31) eine Radarantenne ist.

17. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 14 bis 16, dadurch gekennzeichnet, dass das Mittel (5, 8) zur Erzeugung mindestens einer elektromagnetischen Welle (31) im Strömungskanal (6) der Strömungsmaschine (1), insbesondere einer Gasturbine, angeordnet ist.

FIG 1

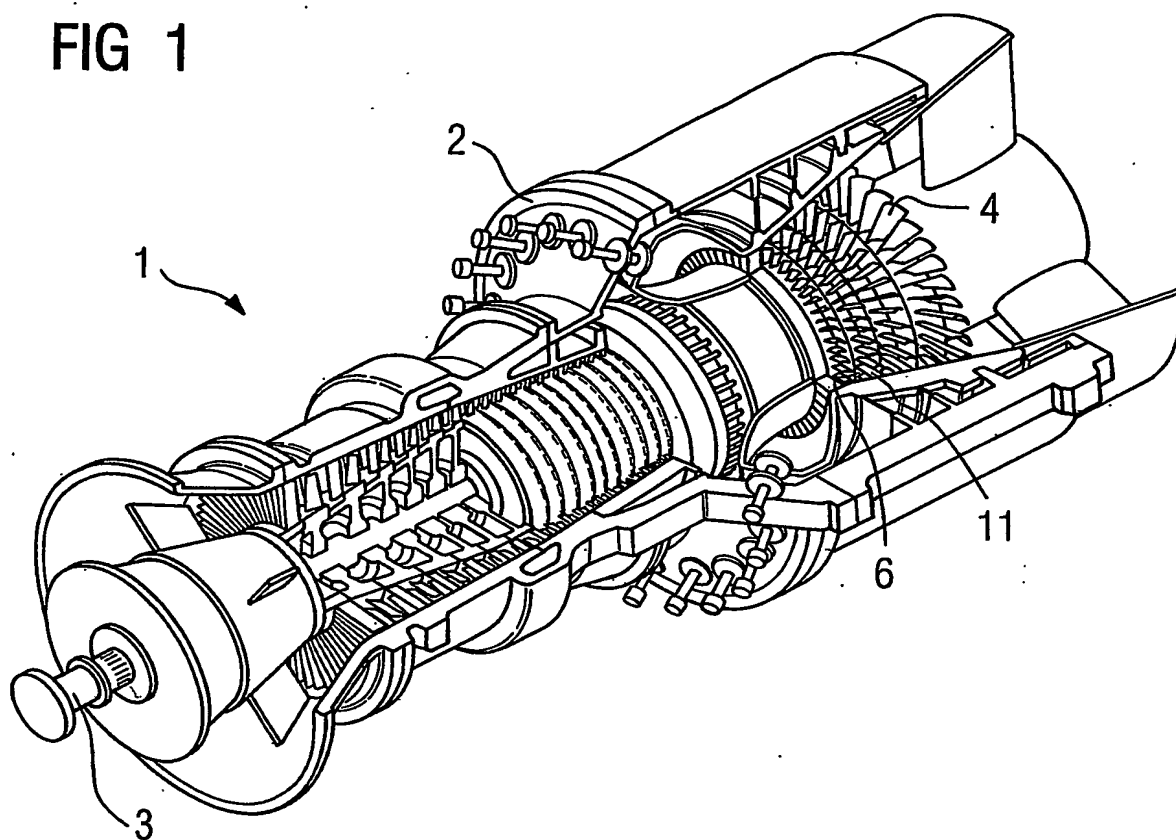
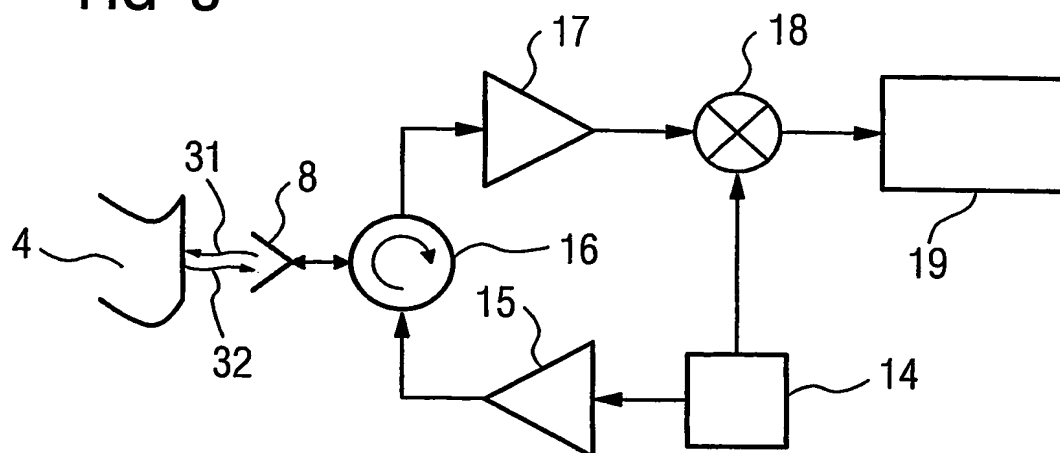


FIG 3





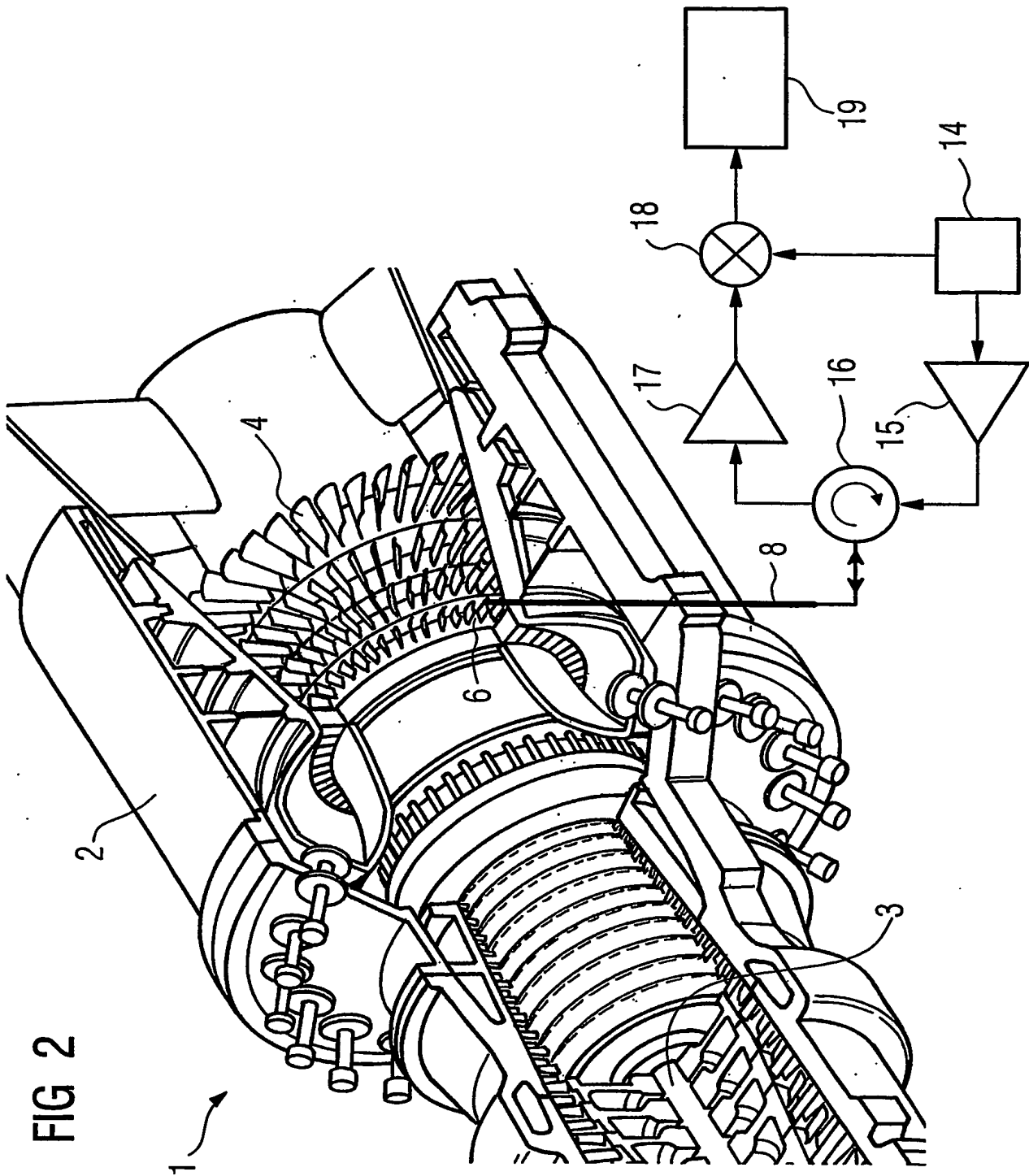


FIG 4

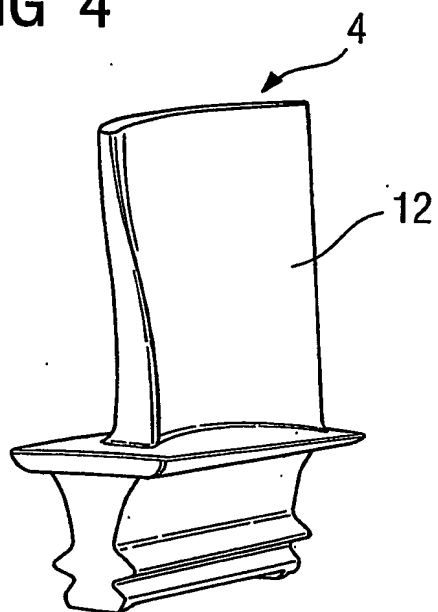


FIG 5

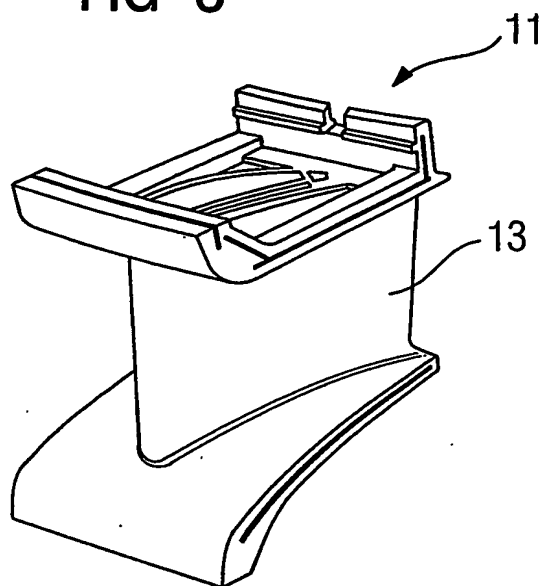
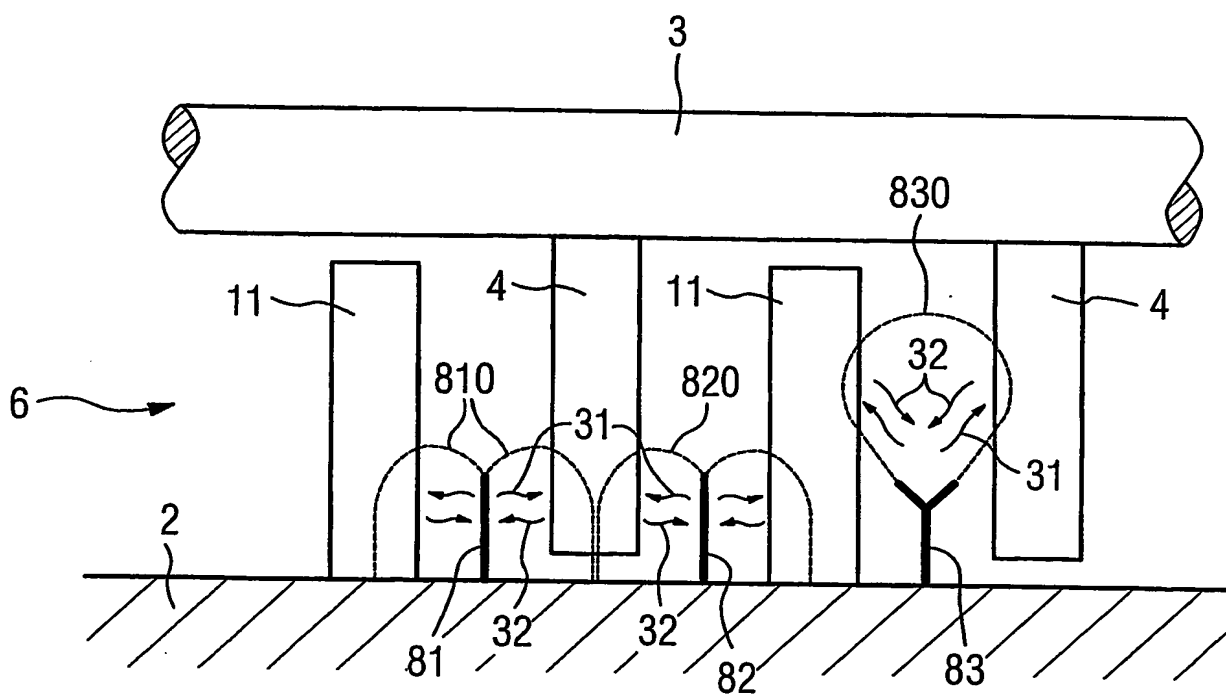
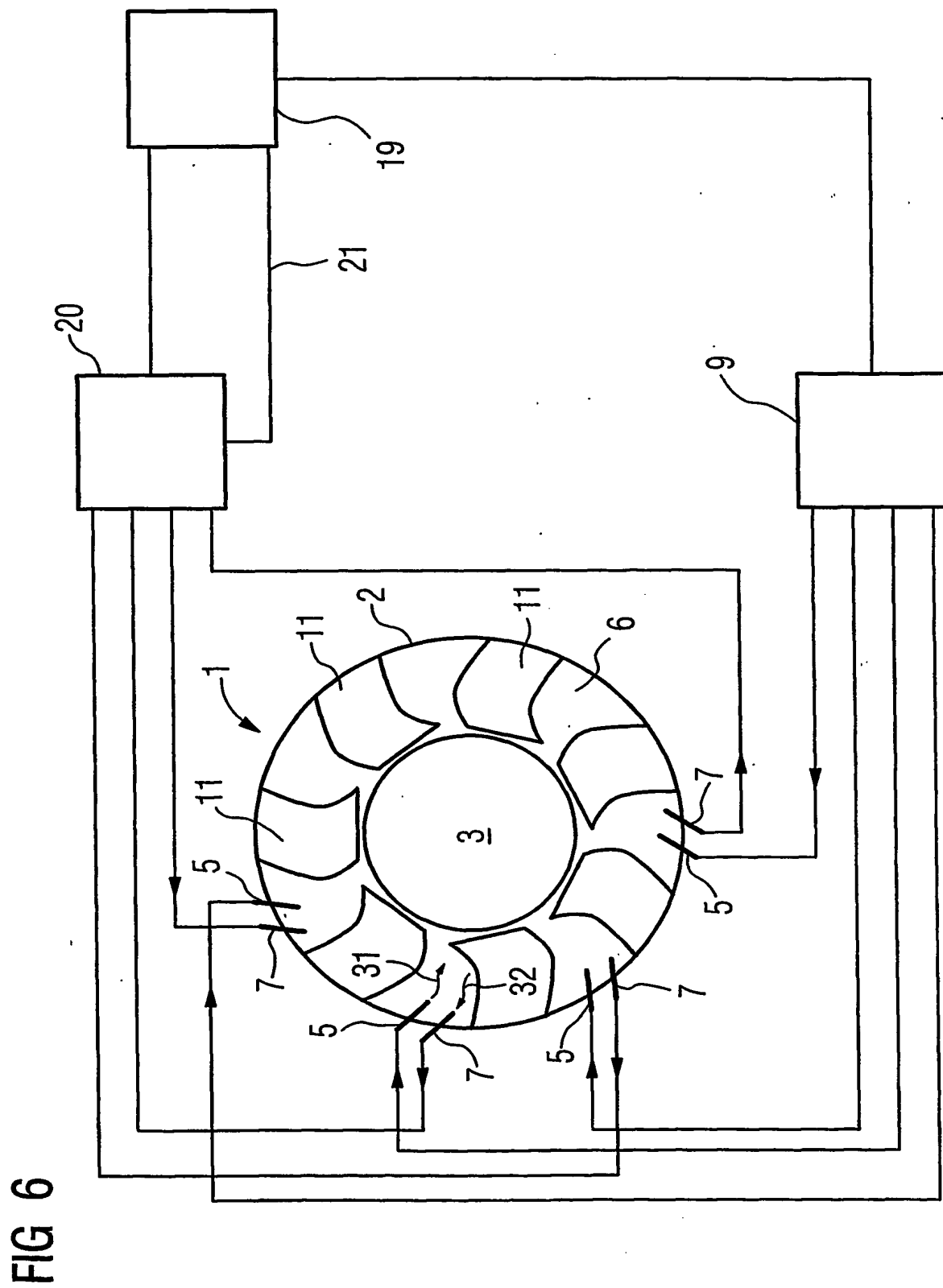


FIG 7





(12) NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES  
PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum  
Internationales Büro



(43) Internationales Veröffentlichungsdatum  
5. August 2004 (05.08.2004)

PCT

(10) Internationale Veröffentlichungsnummer  
**WO 2004/065918 A3**

(51) Internationale Patentklassifikation<sup>7</sup>: **G01H 1/00**,  
G01M 13/00, G01N 22/02, G01S 13/88, F01D 21/00

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2004/000324

(22) Internationales Anmeldedatum:  
16. Januar 2004 (16.01.2004)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:  
103 02 714.9 23. Januar 2003 (23.01.2003) DE  
103 56 513.2 3. Dezember 2003 (03.12.2003) DE

(71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme von  
US): **SIEMENS AKTIEGESELLSCHAFT** [DE/DE];  
Wittelsbacherplatz 2, 80333 München (DE).

(72) Erfinder; und

(75) Erfinder/Anmelder (nur für US): **BOSSELMANN**,  
Thomas [DE/DE]; Ringstr. 30 A, 91080 Marloffstein  
(DE). **EIERMANN**, Franz [DE/DE]; Sonnenhang 42,  
96199 Zapfendorf (DE). **HUBER**, Klaus [DE/DE];  
Am Steinberg 4, 91341 Röttenbach (DE). **WILLSCH**,  
Michael [DE/DE]; Schwabacher Str. 19, 90762 Füh (DE).

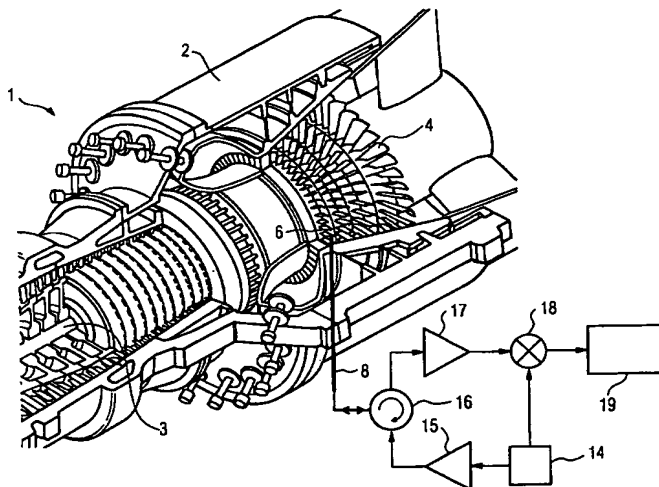
(74) Gemeinsamer Vertreter: **SIEMENS AKTIEGE-  
SELLSCHAFT**; Postfach 22 16 34, 80506 München  
(DE).

(81) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für  
jede verfügbare nationale Schutzrechtsart): AE, AG, AL,  
AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BW, BY, BZ, CA, CH,  
CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DZ, EC, EE, EG, ES,  
FI, GB, GD, GE, GH, GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE,

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

(54) Title: METHOD FOR DETERMINATION OF THE STRESS ON BLADES OF A TURBINE MACHINE DURING OPER-  
ATION AND CORRESPONDING DEVICE FOR CARRYING OUT SAID METHOD

(54) Bezeichnung: ÜBERWACHEN DER BEANSPRUCHUNG VON TURBINENSCHAUFELN MIT MIKROWELLEN



(57) Abstract: The method serves to determine the vibrational state of turbine blades (4), arranged on a rotor shaft, mounted such as to rotate in a housing and/or of guide vanes. At least one electromagnetic wave (31) is transmitted into a flow channel in the vicinity of the blades (4), using means (8) for the generation of at least one electromagnetic wave. The electromagnetic waves (31) are at least partly reflected from at least one blade (4). The reflected part (32) of the at least one electromagnetic wave is received by means for receiving (8) and the vibrational state of the corresponding blade (4) is determined from a signal corresponding to the at least one received electromagnetic wave (32).

(57) Zusammenfassung: Ermitteln des Schwingungszustandes von in einer Strömungsmaschine mit an einer in einem Gehäuse drehbar gelagerten Rotorwelle angeordneten Laufschaufeln (4) und/oder Leitschaufeln. Durch Mittel (8) zum Erzeugen mindestens einer elektromagnetischen Welle (31) in einem Strömungskanal in einem Bereich der Schaufeln (4)

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

WO 2004/065918 A3



KG, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX, MZ, NA, NI, NO, NZ, OM, PG, PH, PL, PT, RO, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SY, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, YU, ZA, ZM, ZW.

RO, SE, SI, SK, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

**Veröffentlicht:**

— mit internationalem Recherchenbericht

**(84) Bestimmungsstaaten** (soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare regionale Schutzrechtsart): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LS, MW, MZ, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasisches (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), europäisches (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE, IT, LU, MC, NL, PT,

**(88) Veröffentlichungsdatum des internationalen Recherchenberichts:**

24. Februar 2005

*Zur Erklärung der Zweibuchstaben-Codes und der anderen Abkürzungen wird auf die Erklärungen ("Guidance Notes on Codes and Abbreviations") am Anfang jeder regulären Ausgabe der PCT-Gazette verwiesen.*

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

IPC 7 G01H1/00 G01M13/00 G01N22/02 G01S13/88 F01D21/00

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

IPC 7 G01H G01M G01N G01S F01D

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used)

EPO-Internal

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	US 4 507 658 A (WESTINGHOUSE) 26 March 1985 (1985-03-26) column 2, line 22 - line 35; figure 3	1, 2, 14
A	WO 98/39670 A (GEC-MARCONI) 11 September 1998 (1998-09-11) page 1, line 7 - line 10 page 6, line 22 - page 7, line 10	
A	EP 0 806 680 A (UTC) 12 November 1997 (1997-11-12) column 1, line 24 - line 29 column 3, line 54 - line 58; figure 1	
A	EP 0 558 843 A (IHJ) 8 September 1993 (1993-09-08) column 2, line 38 - line 47; claim 1; figure 2	
	--- -/--	



Further documents are listed in the continuation of box C.



Patent family members are listed in annex.

\* Special categories of cited documents:

- \*A\* document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
- \*E\* earlier document but published on or after the international filing date
- \*L\* document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
- \*O\* document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
- \*P\* document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

\*T\* later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

\*X\* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

\*Y\* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art.

\*&\* document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

27 April 2004

Date of mailing of the international search report

21/07/2004

Name and mailing address of the ISA

European Patent Office, P.B. 5618 Patentlaan 2  
NL - 2280 HV Rijswijk  
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,  
Fax: (+31-70) 340-3016

Authorized officer

Mielke, W

# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No  
PCT/EP2004/000324

## C.(Continuation) DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	<p>GB 2 011 752 A (SPC)  11 July 1979 (1979-07-11)  page 1, line 60 - line 68  page 2, line 110 - line 121</p>	

# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International Application No

PCT/EP2004/000324

Patent document cited in search report		Publication date	Patent family member(s)	Publication date
US 4507658	A	26-03-1985	JP 1037567 B JP 1553019 C JP 59041606 A	08-08-1989 04-04-1990 07-03-1984
WO 9839670	A	11-09-1998	GB 2322988 A AU 6407798 A CA 2282291 A1 EP 0965055 A1 WO 9839670 A1	09-09-1998 22-09-1998 11-09-1998 22-12-1999 11-09-1998
EP 806680	A	12-11-1997	US 5818242 A CA 2204693 A1 DE 69727169 D1 EP 0806680 A2 JP 10068617 A	06-10-1998 08-11-1997 19-02-2004 12-11-1997 10-03-1998
EP 558843	A	08-09-1993	US 5201227 A EP 0558843 A1	13-04-1993 08-09-1993
GB 2011752	A	11-07-1979	CA 1111941 A1 DE 2854432 A1 FR 2412845 A1 IT 1109235 B	03-11-1981 21-06-1979 20-07-1979 16-12-1985



# INTERNATIONALE RESEARCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP2004/000324

## A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES

IPK 7 G01H1/00 G01M13/00 G01N22/02 G01S13/88 F01D21/00

Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPK) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPK

## B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherchierte Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)

IPK 7 G01H G01M G01N G01S F01D

Recherchierte aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen

Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe)

EPO-Internal

## C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	US 4 507 658 A (WESTINGHOUSE) 26. März 1985 (1985-03-26) Spalte 2, Zeile 22 - Zeile 35; Abbildung 3	1, 2, 14
A	WO 98/39670 A (GEC-MARCONI) 11. September 1998 (1998-09-11) Seite 1, Zeile 7 - Zeile 10 Seite 6, Zeile 22 - Seite 7, Zeile 10	
A	EP 0 806 680 A (UTC) 12. November 1997 (1997-11-12) Spalte 1, Zeile 24 - Zeile 29 Spalte 3, Zeile 54 - Zeile 58; Abbildung 1	
A	EP 0 558 843 A (IHJ) 8. September 1993 (1993-09-08) Spalte 2, Zeile 38 - Zeile 47; Anspruch 1; Abbildung 2	

-/--

☒ Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen

☒ Siehe Anhang Patentfamilie

\* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen :

\*A\* Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist

\*E\* älteres Dokument, das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist

\*L\* Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt)

\*O\* Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht

\*P\* Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist

\*T\* Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist

\*X\* Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden

\*Y\* Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren anderen Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist

\*Z\* Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist

Datum des Abschlusses der internationalen Recherche

27. Apr 11 2004

Absenddatum des internationalen Recherchenberichts

21/07/2004

Name und Postanschrift der internationalen Recherchenbehörde

Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2  
NL - 2280 HV Rijswijk  
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,  
Fax: (+31-70) 340-3016

Bevollmächtigter Bediensteter

Mielke, W

## C.(Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
A	GB 2 011 752 A (SPC) 11. Juli 1979 (1979-07-11) Seite 1, Zeile 60 - Zeile 68 Seite 2, Zeile 110 - Zeile 121 -----	

# INTERNATIONALER RESEARCHBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP2004/000324

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument		Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie		Datum der Veröffentlichung
US 4507658	A	26-03-1985	JP	1037567 B	08-08-1989
			JP	1553019 C	04-04-1990
			JP	59041606 A	07-03-1984
WO 9839670	A	11-09-1998	GB	2322988 A	09-09-1998
			AU	6407798 A	22-09-1998
			CA	2282291 A1	11-09-1998
			EP	0965055 A1	22-12-1999
			WO	9839670 A1	11-09-1998
EP 806680	A	12-11-1997	US	5818242 A	06-10-1998
			CA	2204693 A1	08-11-1997
			DE	69727169 D1	19-02-2004
			EP	0806680 A2	12-11-1997
			JP	10068617 A	10-03-1998
EP 558843	A	08-09-1993	US	5201227 A	13-04-1993
			EP	0558843 A1	08-09-1993
GB 2011752	A	11-07-1979	CA	1111941 A1	03-11-1981
			DE	2854432 A1	21-06-1979
			FR	2412845 A1	20-07-1979
			IT	1109235 B	16-12-1985